

FICHE D'INFORMATION – ACIERS INOXYDABLES [PARTIE 4-1]

PROCEDES D'ASSEMBLAGE ET FORMES DES JOINTS – GENERALITES

Cette fiche d'information reprend quelques aspects importants dont il faut tenir compte lors de l'application de la plupart des procédés de soudage sur l'acier inoxydable: les caractéristiques typiques, la préparation des joints, le domaine d'application des procédés de soudage et, très important, la sécurité. Cette fiche constitue donc une base pour les prochaines fiches qui seront spécifiquement consacrées aux procédés et aux métaux d'apport utilisés.

Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, FWeldl, Centre de Recherche de l'IBS, Service Guidance Technologique[*]; Ir. Wim Van Haver, Centre de Recherche de l'IBS; Service subsidié par la Région Wallonne (Traduction: M.C. Ritzen – IBS-BIL)

CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE LORS DU SOUDAGE DE L'ACIER INOXYDABLE

L'acier inoxydable austénitique a une conductibilité thermique qui vaut environ un tiers de celle de l'acier au carbone faiblement allié. Quand ces matériaux sont soudés avec les mêmes paramètres de soudage tels que présentés à la **figure 1**, beaucoup moins de chaleur sera diffusée dans le cas de l'acier inoxydable. On aura donc un bain de fusion plus important que dans le cas de l'acier à bas carbone.

Les aciers inoxydables martensitiques et ferritiques ont une conductibilité thermique correspondant environ à la moitié de celle de l'acier au carbone. Des soudures réalisées dans les mêmes conditions seront plus larges que dans le cas de l'acier au carbone mais plus petite en comparaison avec

l'acier inoxydable austénitique. Afin d'obtenir une soudure de grandeur comparable, il faut souder les aciers martensitiques et ferritiques avec un apport calorifique plus faible que pour l'acier au carbone. Enfin, les aciers inoxydables austénitiques exigent un apport calorifique encore plus faible. En raison de la mauvaise conductibilité thermique de l'acier inoxydable austénitique, le soudage par fusion en position est plus difficile. La chaleur de soudage est plus difficilement diffusée, le bain de fusion reste plus chaud et s'affaisse plus facilement.

Lors du soudage de tôles minces, une bande en cuivre à proximité immédiate de la soudure peut offrir une solution. La chaleur de soudage diffuse alors plus rapidement. On a ainsi moins de retrait et une modification plus faible de la structure de l'acier inoxydable. Il faut

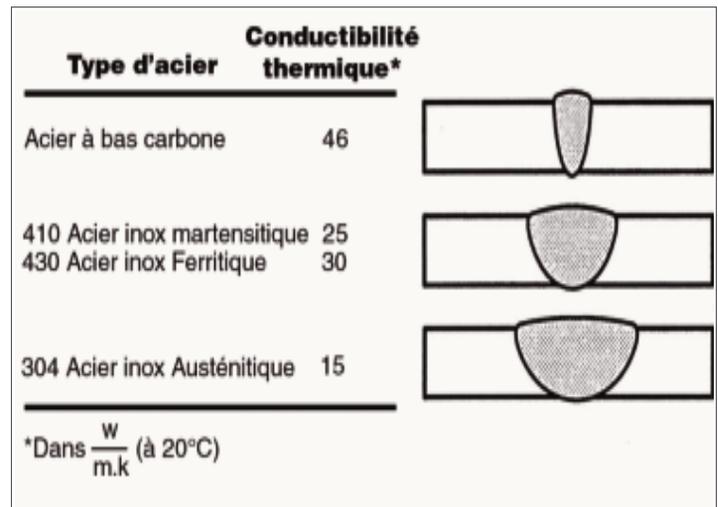


Figure 1: Représentation schématique de joints soudés réalisés avec le soudage à l'arc avec les mêmes paramètres sur différents aciers

cependant veiller à ce que le cuivre ne s'introduise pas dans le bain de fusion ou soit en contact direct avec la soudure. En effet, le cuivre liquide peut facilement s'introduire via les limites de grain et peut dès lors provoquer des fissures à chaud.

DÉFORMATION LORS DU SOUDAGE DE L'ACIER INOXYDABLE

Le coefficient de dilatation thermique de l'acier inoxydable austénitique est également très différent de celui de l'acier au carbone. Cette propriété détermine dans quelle mesure le métal se dilate quand il est chauffé et dans quelle mesure il se rétracte quand il refroidit. Durant le soudage, cette dilatation thermique provoque de la déformation. Plus le coefficient de dilatation thermique est élevé, plus il y aura de dilatation et de retrait et plus il y aura de déformation. Comme la **figure 2** le montre, l'acier inoxydable austénitique a un

coefficient de dilatation thermique de 50 % plus grand que celui de l'acier au carbone tandis que les aciers inoxydables martensitiques et ferritiques ont un coefficient de dilatation comparable à celui de l'acier au carbone. Enfin, la valeur de celui-ci pour les aciers inoxydables duplex se situe entre celle des aciers austénitiques et ferritiques.

Pour une section égale, on aura une plus grande déformation dans le cas de l'acier inoxydable austénitique que dans le cas de l'acier au carbone, de l'acier ferritique ou martensitique. Afin de limiter la déformation, il faut utiliser des pointages ou des clames. Le choix de la séquence de soudage est également très important.

En ce qui concerne le clamage des pièces, il faut tenir compte des remarques suivantes:

- Les tables de soudage doivent être revêtues d'acier inoxydable, aluminium ou autres matières afin de protéger l'acier inoxydable de la contamination;
- Les vis de serrage, les clames, les outils ... doivent être en acier inoxydable ou être revêtus d'une matière de protection (inox, tape, ...);
- Il est conseillé d'utiliser un système de clamage avec une bande en cuivre dans laquelle sont aménagées de petites ouvertures permettant le passage d'un (backing)gaz de protection;
- Le produit ne peut être retiré du système de clamage que quand il est suffisamment refroidi.

Quand on assemble et pointe les pièces, il faut le faire en respectant la

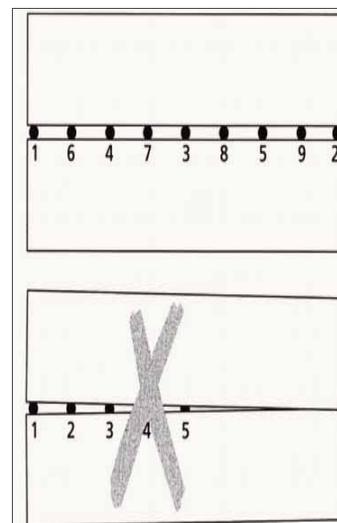


Figure 3: Afin d'éviter l'effet de cisailage, les soudures de pointage doivent être déposées de façon alternée des deux côtés

TABLEAU 1: ECARTEMENTS RECOMMANDÉS LORS DU SOUDAGE DE L'ACIER INOXYDABLE

	ÉPAISSEUR DE TOLE < 4 MM	ÉPAISSEUR DE TÔLE (*) > 4 MM
MMA, BASIQUE	0,3 x épaisseur de tôle	2,5 mm (***)
MMA, RUTILE	0,5 x épaisseur de tôle	3,0 mm (***)
MMA, AC/DC	0,7 x épaisseur de tôle	3,2 mm (***)
MIG/MAG	0,7 x épaisseur de tôle	2,5 - 3,0 mm
FCAW (**)	0,7 x épaisseur de tôle	2,5 - 3,0 mm
SAW	pas d'écartement	pas d'écartement

* joint en V, X ou K; ** L'écartement lors du soudage avec support en céramique doit être de 4 - 6 mm; *** Règle approximative précise lors du soudage à l'arc avec électrode enrobée de tôles plus épaisses: l'écartement est égal au diamètre du fil de l'âme de l'électrode utilisée pour la première passe

procédure de soudage. L'importance et la régularité de l'écartement des bords sont ici très importantes; elles dépendent par ailleurs du procédé et de l'épaisseur. Lors du soudage manuel, un cordon de pénétration correct sera plus facilement obtenu si on soude avec un écartement. Quand on soude des aciers inoxydables spéciaux, il faudrait toujours souder avec un écartement car la composition du métal d'apport est souvent différente de celle du matériau de base ce qui influence les variations dans la microstructure. Les écartements recommandés sont donnés au **tableau 1**. Ceci mérite également une attention particulière lors du pointage. L'écartement doit rester aussi constant que possible; si ce n'est pas le cas, on peut avoir un manque de pénétration et/ou une déformation inadmissible. Les soudures de pointage doivent être déposées à partir des extrémités et ensuite au centre de chaque écartement, etc ... Si on démarre le pointage d'un côté et finit de l'autre sans alterner, on a alors des problèmes (**fig. 3**). La distance entre les soudures de pointage doit être beaucoup plus faible pour l'acier inoxydable austénitique que pour l'acier au carbone; ceci, en raison de la dilatation thermique plus élevée. Le nombre de pointages doit toujours être suffisant afin de maintenir un écartement si le clamage est impossible. Le **tableau 2** donne les dimensions des soudures de pointage et la distance entre elles.

Les démarrages et les arrêts des soudures de pointage doivent être correctement meulés et ce, dans un ordre correct. Les soudures de pointage peuvent être source de problèmes. Aux endroits de démarrage et d'arrêt, il faut être très attentionné afin d'éviter des porosités et des fissures de cratère. Ces démarrages et arrêts doivent également être bien refondus dans le bain de fusion. Si nécessaire: d'abord meuler, ensuite souder. Quand on soude d'un seul côté, la soudure de pointage doit être complètement meulée. Quand on utilise des ponts de pointage, ils doivent être faits avec un métal d'apport correct. De plus, pour ce faire, il faut appliquer une procédure de soudage qualifiée! Quand on enlève les pièces auxiliaires, il faut veiller à ne pas endommager ou contaminer la surface de l'acier inoxydable. Si cela devait arriver, il faut tout remettre en état très soigneusement.

USINAGE PRÉALABLE

Le coupage au plasma ainsi que l'usinage mécanique sont de l'ordre du possible. L'usinage mécanique donne une bonne précision dans le dimensionnement mais est en soi une méthode d'usinage onéreuse. Il faut veiller à ce que le métal de base ne surchauffe pas car alors de l'oxydation se crée et les propriétés à la corrosion sont ainsi influencées négativement. Le coupage au plasma

a une précision moindre mais le coût est plus faible. En coupant au plasma dans un bain d'eau, la structure et la déformation, pour la plupart des aciers inoxydables, sont peu influencées. Les aciers inoxydables duplex peuvent cependant constituer une exception. La méthode d'usinage est donc déterminée sur base des coûts mais également des exigences de qualité. Un usinage onéreux peut, dans de nombreux cas, donner une soudure meilleur marché (coût total) grâce à la précision correcte du dimensionnement. Dans tous les cas, les bords du joint usinés doivent être nettoyés. Les huiles et liquides de refroidissement de l'usinage mécanique doivent être éliminés. Dans le cas du coupage thermique, la légère peau d'oxydes présente doit être enlevée par meulage. Une règle d'or pour l'usinage mécanique est que les outils utilisés pour l'acier inoxydable doivent être conservés à part de ceux utilisés pour l'acier. Il est préférable de travailler dans des endroits séparés. Les outils comme les brosses en acier inoxydable, les marteaux à piquer, etc ... doivent donc être identifiables, par ex. en apposant une couleur sur le manche. Les disques de meuleuse utilisés pour l'acier inoxydable doivent être uniquement pour ceux-ci afin d'éviter la contamination de l'acier inoxydable. Seules des brosses en acier inoxydable peuvent être utilisées pour l'acier inoxydable! Quel que soit le type d'acier inoxydable, le matériau doit être nettoyé d'une façon appropriée avant

- soudage:
- Brosser ou meuler la zone de soudage afin d'éliminer les oxydes (ceux-ci peuvent être présents sur des produits laminés à chaud);
 - Nettoyer chimiquement toutes les surfaces ayant été usinées avec utilisation de liquide de refroidissement;
 - Eliminer toute graisse, huile, humidité, ...
 - Nettoyer toutes les surfaces à souder en les frottant avec de l'acétone ou de l'alcool isopropylique.

PROCÉDÉS DE SOUDAGE ET DOMAINE D'APPLICATION

Les aciers inoxydables et réfractaires peuvent être soudés avec succès avec presque tous les procédés de soudage existants. Mais lors du soudage de l'acier inoxydable, il faut, plus encore que dans le cas de l'acier non allié, prendre les précautions nécessaires pour protéger l'acier inoxydable de l'influence de l'air environnant. Le gaz de protection, le flux de soudage ou l'enrobage de l'électrode doivent éviter autant que possible les effets indésirables. Un des effets le plus important est une résistance moindre à la corrosion à la suite de l'apparition d'oxydes à haute température (les dits "oxydes thermiques"). Ceci concerne tant la soudure que le métal de base voisin. L'application ou non d'un certain procédé de soudage peut dépendre de la forme et des dimensions de la pièce, de l'importance de la série,

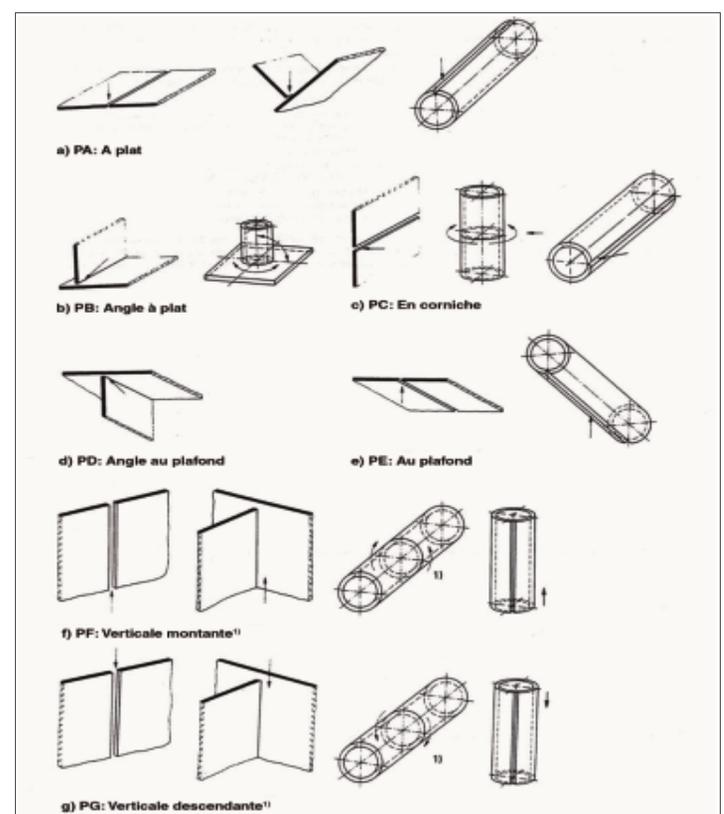
TABLEAU 2: DISTANCE ENTRE LES SOUDURES DE POINTAGE		
EPAISSEUR DE LA TOLE (MM)	DISTANCE INTERMEDIAIRE (MM)	LONGUEUR DE LA SOUDURE DE POINTAGE (MM)
1 - 1,5	30 - 60	5 - 7
2 - 3	70 - 120	5 - 10
4 - 6	120 - 160	10 - 15
> 6	150 - 200	20 - 30

Figure 2: Représentation schématique de déformations par soudage dues au soudage à l'arc avec les mêmes paramètres sur différents aciers

Type d'acier	Coefficient de dilatation thermique*	
Acier à bas carbone	12	
410 Acier inox martensitique 430 Acier inox Ferritique	11 10	
304 Acier inox Austénitique	16,5	

*Dans 10⁻⁶/°C (entre 20°C et 200°C)

Figure 4: Exemples des principales positions de soudage pour les soudures bout à bout et les soudures d'angle



1) Pour des objectifs spéciaux, par ex. la qualification des soudeurs, cette position est considérée comme position principale

des exigences de qualité, de la disponibilité du procédé dans l'entreprise, ... Dans de nombreux cas, c'est la considération d'ordre économique qui est déterminante dans le choix du procédé. Le soudage MIG/MAG prend une place de plus en plus importante lors du soudage de l'acier inoxydable et ce, au détriment du soudage à l'arc avec électrode enrobée. Les procédés de soudage MIG/MAG, TIG et au plasma sont appropriés pour la mécanisation et la robotisation. Pour le soudage orbital de tube/tube et tube/plaque tubulaire, avec ou non alimentation en fil, des appareillages spéciaux TIG ont été développés. Un aperçu des procédés de soudage et de leur domaine d'application est donné au **tableau 3**. Le tableau 3 reprend un certain nombre de procédés de soudage avec mention de l'épaisseur et de la position. Ce tableau ne mentionne pas le soudage oxyacétylénique et le brasage car la résistance à la corrosion est souvent amoindrie lors de l'utilisation de ces procédés. La **figure 4** donne un aperçu des positions de soudage suivant l'EN ISO 6947.

MESURES DE SÉCURITÉ

En résumé, lors du soudage de l'acier inoxydable, il faut tenir compte des points suivants:

Précautions lors de la préparation des joints soudés

- Si des bords de tôles sales et gras sont nettoyés avec des solvants, ceci doit se faire dans un endroit séparé de celui où on soude. Si cela n'est pas possible, il faut alors utiliser des dégraissants faiblement alcalins.
- En raison du risque d'incendie, des produits comme l'acétone et la benzine ne peuvent pas être utilisés. De plus, ces produits sont très volatils et sont néfastes pour la santé. Il existe de bons solvants sur le marché qui, en combinaison avec une bonne aspiration et une protection individuelles (gants), sont utilisables en toute sécurité.
- L'utilisation de trichloréthylène n'est pas admise et certainement pas à proximité de l'atelier de soudage. Ce produit, sous l'influence du rayonnement de l'arc de soudage, peut être transformé en un phosgène très toxique.
- Si l'installation d'un système de dégraissage est envisagée, il faut au préalable se mettre en contact avec

l'Inspection du Travail.

Précautions durant le soudage

A première vue, il semble qu'il y ait peu de risques pour la santé et la sécurité du soudeur. Quelques effets néfastes, comme ceux causés par l'aspiration des fumées de soudage, sont détectables après un certain temps. C'est pourquoi, une bonne protection individuelle et l'utilisation d'installations d'aspiration sont nécessaires.

- Quand on travaille avec un procédé à l'arc, il faut être conscient de la présence d'ozone (O₃) dans l'air en concentration maximale de 0,1 ppm (parties par 10 millions de particules). Celui-ci est détectable à l'odorat mais, à ce moment, on est déjà proche de la valeur maximale admissible. Une bonne ventilation en combinaison avec une aspiration est nécessaire. Dans le doute: EFFECTUER DES MESURES!
- Avec tous les procédés de soudage où l'arc est visible, une bonne aspiration (de préférence locale) doit être appliquée en raison de l'émission de fumées de soudage. L'élément principalement mis en cause est le chrome dans l'acier inoxydable. Le CrVI, après une inhalation de longue durée, est

cancérogène. D'éventuelles lésions aux poumons se déclarent parfois après des dizaines d'années et ne sont, dès lors, pas toujours imputées aux conditions de travail. Ceci signifie que, pour éviter d'éventuels risques, il est nécessaire d'avoir une bonne aspiration en toutes circonstances et que dans des espaces confinés, il faut utiliser un casque de soudage équipé d'une alimentation en air frais.

POINTS TECHNIQUES IMPORTANTS

Les aciers inoxydables austénitiques ont, par rapport aux aciers non alliés et faiblement alliés, un coefficient de dilatation 1,5 fois plus grand et une conductibilité 3 fois moindre. Le risque de se déformer et de continuer à brûler durant le soudage est de ce fait beaucoup plus grand. Pour limiter ce risque au maximum, les précautions suivantes peuvent être prises:

- Mettre des bandes de refroidissement en cuivre dans l'environnement immédiat du joint soudé qui permettent d'avoir rapidement une diffusion de la chaleur, surtout dans le cas des tôles minces. Ceci permet d'avoir moins de retrait et moins de variation dans la structure de l'acier inoxydable. Il faut cependant veiller à ce que le cuivre ne s'introduise pas dans le bain de fusion ou soit en contact direct avec la soudure. Le cuivre liquide peut, en effet, s'introduire facilement via les limites de grains et causer ainsi des fissures à chaud.
- Il est conseillé d'utiliser un système de clamage avec bande en cuivre pourvue d'orifices permettant d'utiliser un (backing)gaz de protection.
- Le produit ne peut être retiré du système de clamage que quand il est suffisamment refroidi.
- Il faut déposer plus de soudures de pointage que dans le cas de l'acier non allié et faiblement allié s'il est impossible de clamer. Le nombre de pointages doit être suffisant pour maintenir l'écartement des bords.
- Les soudures de pointage peuvent être source de problèmes. A l'endroit du démarrage et de l'arrêt, il faut veiller à éviter les porosités et les fissures de cratère. Ces soudures doivent également être bien intégrées dans le bain de fusion. Si nécessaire, il faut meuler avant de continuer à souder. □

TABLEAU 3 - APERÇU DES PROCÉDÉS DE SOUDAGE POUR LE SOUDAGE DE L'ACIER INOXYDABLE

PROCEDES DE SOUDAGE ET DE COUPAGE		EPAISSEUR			POSITION
		< 3 mm	3 - 8 mm	> 8 mm	
SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE		O	X	X	A
SOUDAGE MIG/MAG	SHORT ARC	X	X	X ¹⁾	A
	SPRAY ARC	-	X	X	H ²⁾
	ARC PULSE	X	X	X	A
	FIL FOURRE	-	X	X	A
SOUDAGE TIG (TIG PULSE INCLUS)		X	X ¹⁾	X ¹⁾	A
SOUDAGE SOUS FLUX		-	X	X	H ²⁾
SOUDAGE AU PLASMA		X	X	X	A
SOUDAGE PAR RESISTANCE (SOUDAGE PAR POINTS)		X	X	-	A
SOUDAGE PAR FAISCEAU D'ELECTRONS		X	X	X	*
SOUDAGE AU LASER		X	X ³⁾	X ³⁾	*
SOUDAGE PAR DIFFUSION		X	X	X	*
SOUDAGE PAR FRICTION		-	X		*
SOUDAGE PAR EXPLOSIONS		X ⁴⁾	X ⁴⁾		*
BRASAGE	FOUR	X	X	X	*
	INDUCTION	X	X	X	*
	DIFFUSION	X	X	X	*
COUPAGE	AU PLASMA	X	X	X	*
	GOUGEAGE AU JET DE PLASMA		X	X	*
	AU LASER	X	X	O ³⁾	*

APPLICATION	POSITIONS DE SOUDAGE	REMARQUES
X = possible	H = horizontal	1) appliqué spécifiquement pour les passes de fond
O = possible mais non utilisé	A = toutes	2) positions 1G, 1F et 2F
- = inapplicable	* = déterminée par le procédé	3) puissance nécessaire supérieure
		4) approprié pour les assemblages tube/tube et tube/plaque tubulaire

BIBLIOGRAPHIE

- The Avesta Welding Manual, practice and products for stainless steel welding (2005)
- The Professional's Advisor on Welding of Stainless Steels, AWS, 1999
- Roestvast staal lassen, Van voorbereiding tot nabewerking; Smitweld bv, Nijmegen (1986)
- Lassen van roest- en hittevast staal, vm42, FME - NIL